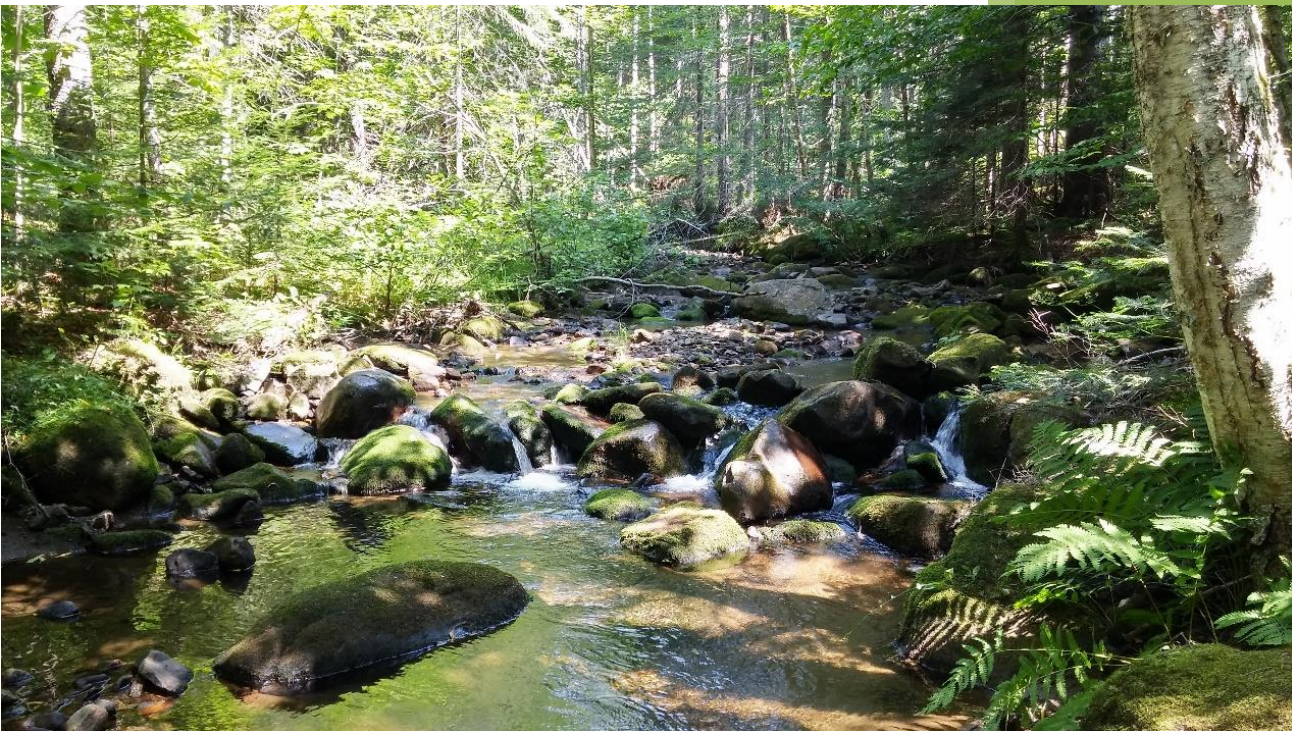


Suivi de la qualité de l'eau de la rivière Waterloo - 2018



**Organisme
des bassins
versants**
de la Capitale

Rédaction

Lisa-Marie Carrion

Raphaële Piché

Cartographie

Raphaële Piché

Antoine Thibault

Travaux de terrain

Lisa-Marie Carrion

Raphaële Piché

Antoine Thibault

Révision

Nancy Dionne

Référence à citer

Carrion, L.-M et Piché, R. 2019. Suivi de la qualité de l'eau de la rivière Waterloo – 2018. Organisme des bassins versants de la Capitale, 37 pages, 1 annexe.

Description de la photo en page couverture (OBV de la Capitale, 2018)

Photo de la rivière Waterloo.

TABLE DES MATIÈRES

1.	Mise en contexte	4
2.	Description de la zone à l'étude	5
3.	Méthodologie	8
3.1	Localisation des stations d'échantillonnage	8
3.2	Indice de qualité bactériologique et physico-chimique (IQPB ₆)	10
3.3	Paramètres mesurés in situ.....	14
4.	Résultats.....	14
4.1	Détermination de l'IQPB ₆ à la station Waterloo #1 - Chemin des lacs	14
4.1.1	Coliformes fécaux	16
4.1.2	Matières en suspension	16
4.1.3	Chlorophylle α	16
4.1.4	Azote ammoniacal	16
4.1.5	Nitrites et nitrates.....	16
4.1.6	Phosphore total	17
4.2	Paramètres in situ – Station Waterloo #1 - Chemin des lacs.....	17
4.3	Détermination de l'IQPB ₆ à la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin	18
4.3.1	Coliformes fécaux	20
4.3.2	Matières en suspension	20
4.3.3	Chlorophylle α	20
4.3.4	Azote ammoniacal	20
4.3.5	Nitrites et nitrates.....	21
4.3.6	Phosphore total	21
4.4	Paramètres in situ – Station Waterloo #2 - Chemin du Moulin.....	22
5.	Discussion	23
5.1	Nitrites et nitrates.....	23
5.2	Matières en suspension et phosphore	25
5.3	Coliformes fécaux	26
6.	Conclusions et recommandations	27

Références	30
Annexe photographique	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Bassin versant de la rivière Waterloo	5
Figure 2: Localisation du bassin versant de la rivière Waterloo	6
Figure 3: Impacts anthropiques sur le bassin versant de la rivière Waterloo	7
Figure 4: Seuil en amont de la station Waterloo #1 - Chemin des Lacs, 2018	8
Figure 5: Seuil en amont de la station Waterloo #1 - Chemin des Lacs, 2018	9
Figure 6: Ponceaux en amont de la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin, 2018	9
Figure 7: Schématisation de l'époussette utilisée lors de l'échantillonnage	13
Figure 8: Spécificité des bouteilles d'échantillonnage	13
Figure 9: Valeurs de l'IQBP ₆ et de ses sous-indices pour la station Waterloo #1 - Chemin des lacs	15
Figure 10: Valeurs de l'IQBP ₆ et de ses sous-indices pour la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin	Erreur ! Signet non défini.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Valeurs-seuil des sous-indices de l'IQBP ₆ basées sur les courbes d'appréciation (Hébert, 1997)	10
Tableau 2: Classe de qualité de l'eau en fonction des valeurs-seuil des sous-indices de l'IQBP ₆	11
Tableau 3: Détails de l'effort d'échantillonnage 2018 et conditions météorologiques... ..	12
Tableau 4: Valeurs des sous-indices des paramètres mesurés à la station Waterloo #1 - Chemin des lacs	15
Tableau 5: Concentrations mesurées pour chaque paramètre à la station Waterloo #1 - Chemin des lacs	17
Tableau 6: Paramètres <i>in situ</i> mesurés à la station Waterloo #1 - Chemin des lacs	18
Tableau 7: Valeurs des sous-indices des paramètres mesurés à la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin	19
Tableau 8: Concentrations mesurées pour chaque paramètre à la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin	21
Tableau 9: Paramètres <i>in situ</i> mesurés à la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin....	22

1. Mise en contexte

Dans le cadre du programme «Amélioration de la qualité des habitats aquatiques» (AQHA 2017) de la Fondation de la faune du Québec, une étude ichtyologique a été réalisée sur la rivière Waterloo par l'Organisme des bassins versants de la Capitale (OBV de la Capitale) (voir Thibault, 2018). Lors de cette étude, des inquiétudes de la part de citoyens riverains ont été soulevées en ce qui a trait à la sédimentation du cours d'eau et des impacts qui en résultent. De fait, le colmatage des frayères, par des apports excessifs en sédiments fins, constitue l'une des causes les plus connues de la détérioration des habitats de l'omble de fontaine (Cantin, 2000). Par ailleurs, les effets de la sédimentation peuvent compromettre la qualité de l'eau et il s'avère que les activités anthropiques dans le bassin versant occupent un rôle déterminant à cet égard (Environnement Canada, 2016; Roche, 2010).

En dépit de sa localisation en milieu majoritairement naturel, la rivière Waterloo est exposée à de nombreuses pressions, étant localisée au nord-est de la municipalité de Lac-Beauport. Depuis 2003, les massifs forestiers du bassin versant de la rivière ont subi plusieurs modifications notamment en raison de l'augmentation du développement résidentiel à proximité, mais également compte tenu de l'ouverture des chemins forestiers sur le versant nord-ouest du Mont Tourbillon (Figure. 1) (Thibault, 2017). La rivière Waterloo prend sa source dans la zone forestière, traverse ensuite la zone résidentielle avant de se jeter dans la rivière Jaune qui elle, finit son trajet dans la rivière Saint-Charles en amont de la prise d'eau potable de la Ville de Québec. Principalement en raison des concentrations de coliformes fécaux qui y sont retrouvées, la rivière Jaune figure parmi les rivières du bassin versant de la rivière Saint-Charles ayant l'indice de qualité bactériologique et physicochimique (IQBP₆) de l'eau le plus faible (Roche, 2010; OBV de la Capitale, 2015a). Ainsi, il s'avère primordial d'accorder une attention particulière à la qualité de l'eau de la rivière Waterloo qui constitue l'un des principaux tributaires de la rivière Jaune.

En réponse aux préoccupations et étant donné le manque d'information concernant la sédimentation et la qualité de l'eau de la rivière Waterloo, l'OBV de la Capitale a entamé un projet de suivi de la qualité de l'eau au cours des mois de mai à octobre 2018 à l'aide de l'IQBP₆ grâce aux heures de laboratoire octroyées par le MELCC. Afin de pouvoir caractériser les éléments ayant potentiellement un impact sur la qualité de l'eau, deux stations ont été sélectionnées sur la rivière. La première est située en aval, dans la zone la plus développée et la seconde en amont, dans la zone davantage forestière. En plus de générer des données sur la qualité générale de l'eau à l'intérieur des limites du bassin versant de la rivière Waterloo, cette étude permet de formuler des recommandations pour veiller à son amélioration à long terme.

2. Description de la zone à l'étude

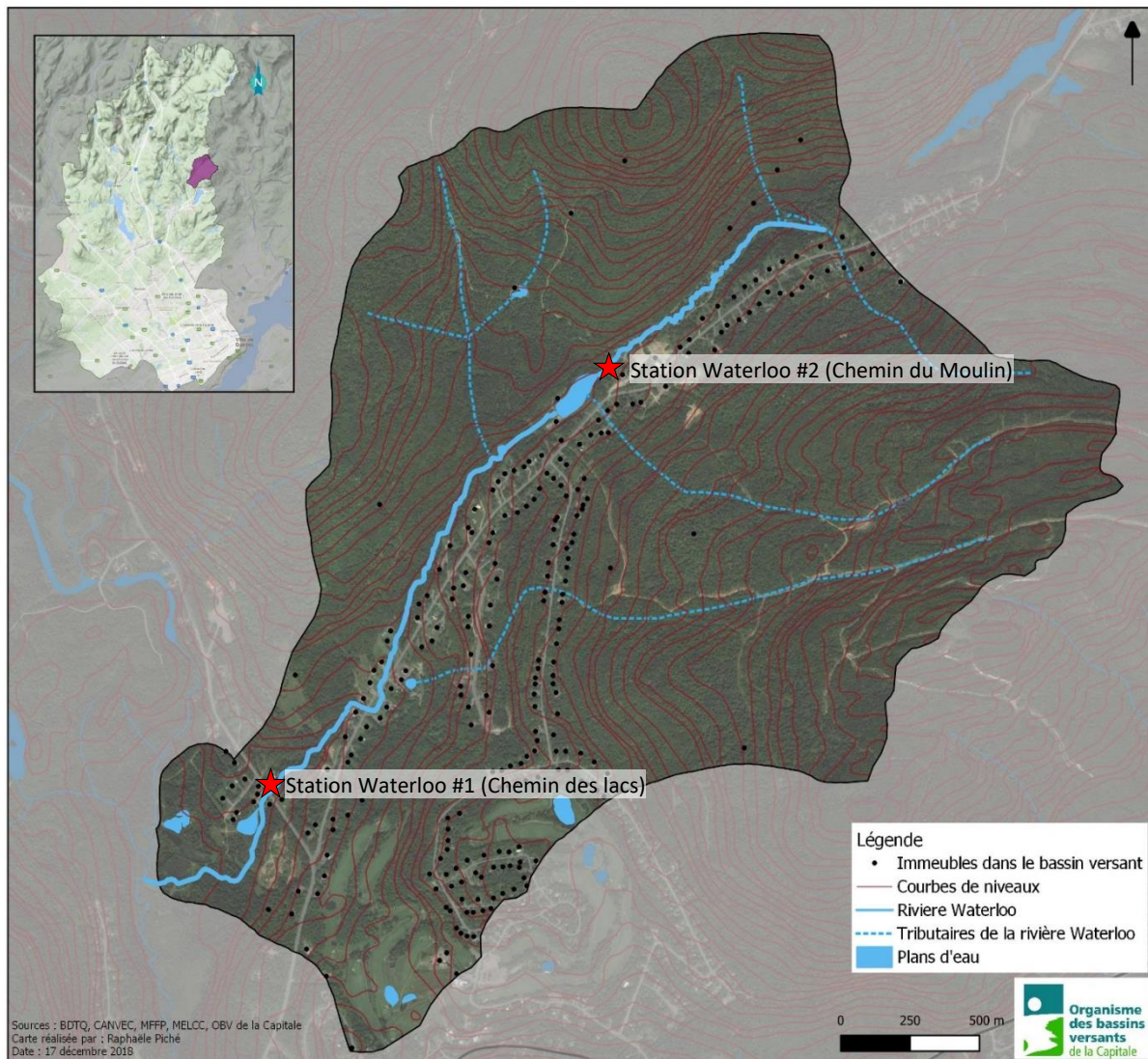


Figure 1: Bassin versant de la rivière Waterloo

La rivière Waterloo (46° 58' 2" N, -71° 17' 34" W), d'une longueur de 3,9 kilomètres, prend sa source dans les montagnes, dont le versant nord du Mont Tourbillon. Situé au nord du bassin versant du lac Beauport dans la municipalité de Lac-Beauport, le bassin versant de la rivière Waterloo draine une petite superficie de 6,36 km² (figure 1). La partie nord du bassin versant demeure essentiellement forestière, tandis que la partie sud se veut partiellement urbanisée. Au sud-est, on note la présence du club de golf du Mont Tourbillon et au nord-est, celle des Sentiers du Moulin. Un déversoir et un seuil se trouvent en amont de deux plans d'eau de petite taille, appelés «lacs du Moulin», mais qui sont en fait des élargissements de la rivière.

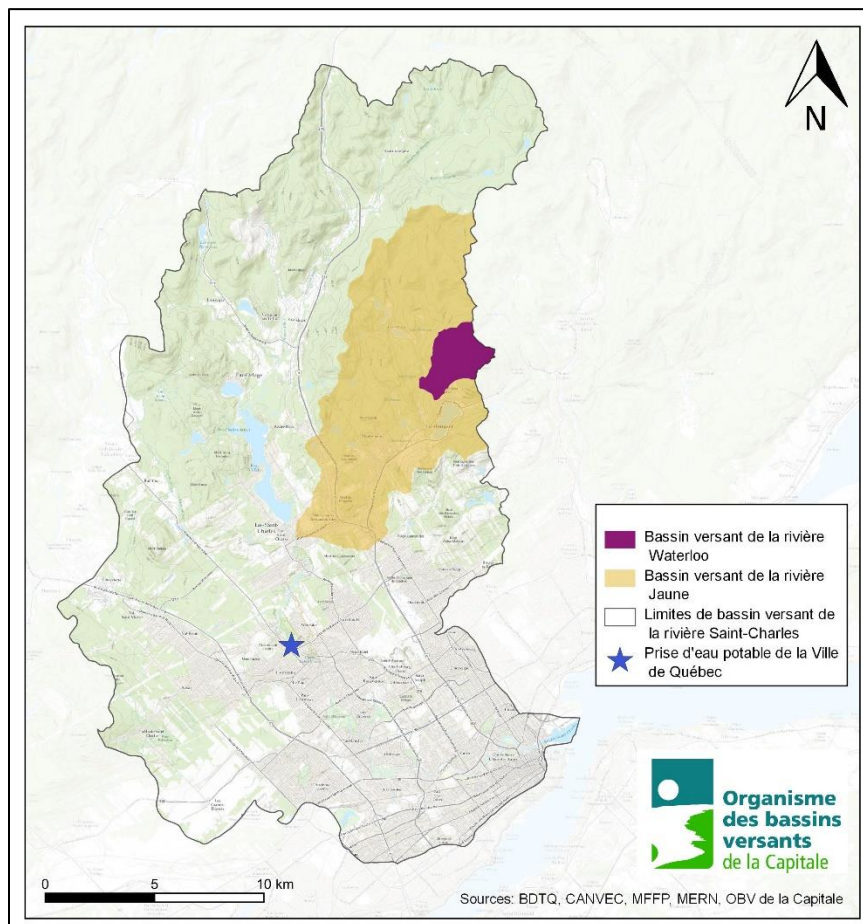


Figure 2: Localisation du bassin versant de la rivière Waterloo

La rivière Waterloo constitue l'un des principaux tributaires de la rivière Jaune, soit de l'une des six rivières tributaires de la rivière Saint-Charles. Le bassin versant de la rivière Jaune occupe la partie nord-ouest du bassin versant de la rivière Saint-Charles en amont de la prise d'eau de la Ville de Québec (figure 2). Avant de se déverser dans la rivière Jaune, la rivière Waterloo traverse deux types de milieux : boisée et semi-urbanisée. Les

zones centrale et sud de son bassin versant s'avèrent partiellement urbanisées et le relief peu accentué, tandis qu'au nord on retrouve majoritairement des milieux boisés et des pentes abruptes. Les activités commerciales établies dans le bassin versant sont de type récréotouristique. Le secteur plus développé est localisé au nord du terrain de golf du Mont Tourbillon, en aval de la station #2, et le secteur forestier, en amont, compte la présence des Sentiers du Moulin (figure 3). On y retrouve des sentiers de ski de fond, de raquette et de «fatbike» en saison hivernale, et des sentiers de randonnée pédestre et de vélo de montagne en saison estivale. Sur une base annuelle, environ 50 000 personnes fréquentent les Sentiers du Moulin, une destination prisée pour la pratique de ces sports au Québec (Martin, 2018).

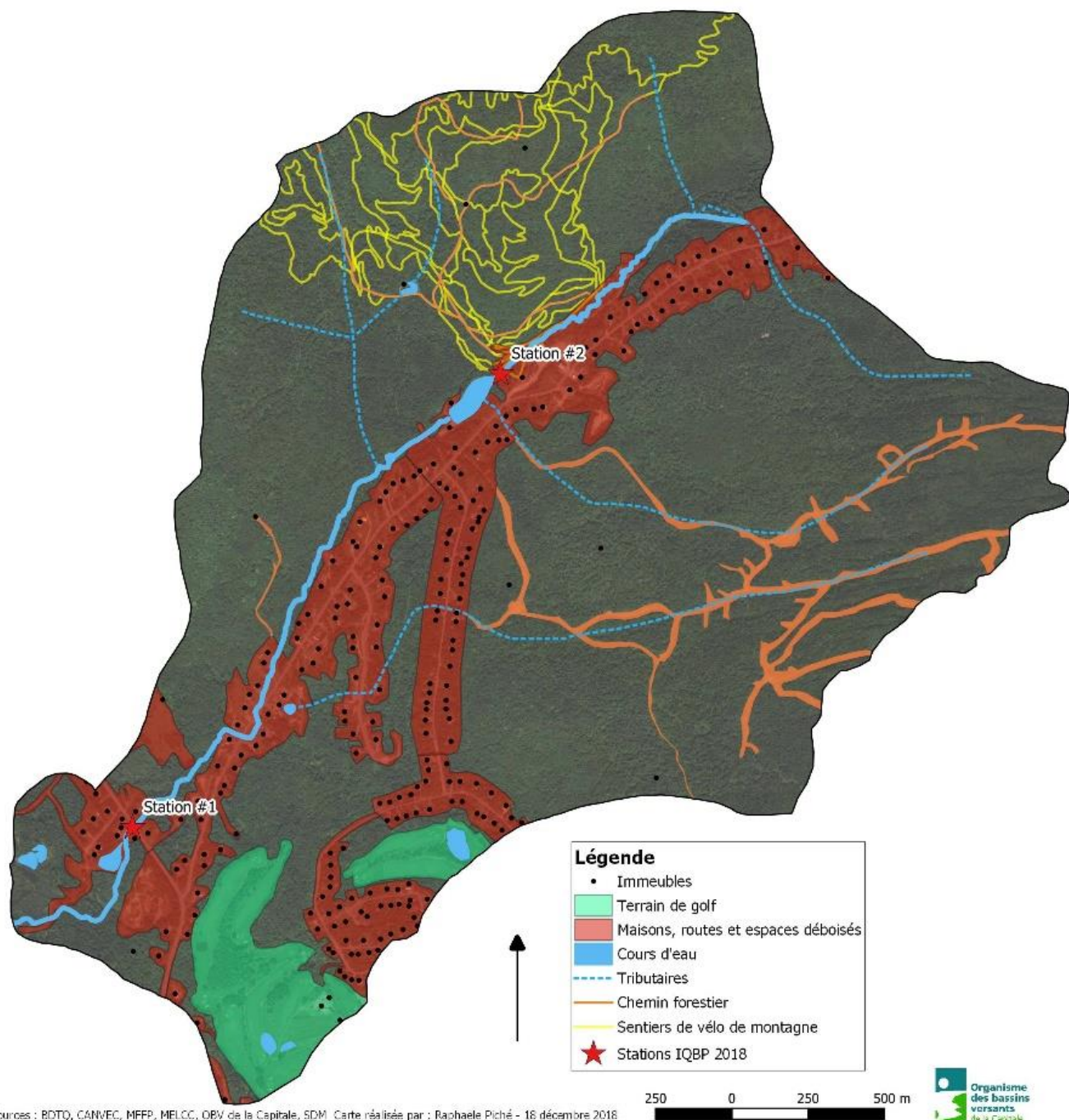


Figure 3: Impacts anthropiques sur le bassin versant de la rivière Waterloo

3. Méthodologie

La campagne d'échantillonnage de la rivière Waterloo s'est déroulée des mois de mai à octobre 2018. Deux stations ont été échantillonnées sur le cours d'eau et cela à 9 reprises, dont 4 fois en temps de pluie. Au total, 18 prélèvements d'eau ont été effectués, puis analysés afin de déterminer l'indice de qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP₆). D'autres paramètres ont également été mesurés *in situ*, à l'aide d'une sonde multiparamètres YSI-63, soit la température, la conductivité et le pH, en plus des observations quant à la transparence de l'eau et la présence/absence d'essence. Le suivi de la qualité de l'eau de la rivière Waterloo a pu être mis en place grâce à une entente entre la Direction de suivi de l'état de l'environnement (DSEE), le Ministère de l'Environnement et de la lutte aux changements climatiques (le MELCC, anciennement le MDDELCC) et les organismes de bassin versant du Québec.

3.1 Localisation des stations d'échantillonnage

La station d'échantillonnage Waterloo #1 - Chemin des lacs (# BQMA : 05090093) est située dans le secteur sud de la rivière. En amont de la première station, on retrouve le ponceau du chemin des lacs, alors qu'en aval on note la présence d'un seuil et de l'un des «lacs du Moulin» (Figures 3 et 4).



Figure 4: Seuil en amont de la station Waterloo #1 - Chemin des Lacs, 2018

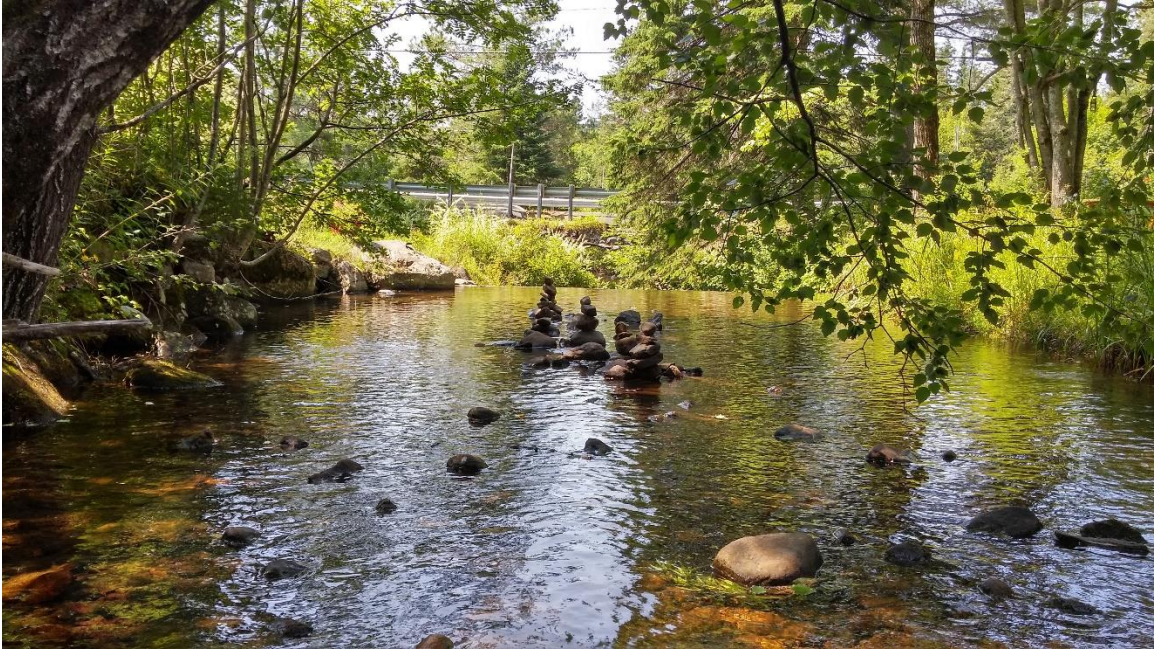


Figure 5: Seuil en amont de la station Waterloo #1 - Chemin des Lacs, 2018



Figure 6: Ponceaux en amont de la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin, 2018

La deuxième station Waterloo #2 - Chemin du Moulin (# BQMA : 05390094) est localisée à environ 2 km en amont de la station #1. Tout juste en aval de la seconde station, on retrouve également l'un des «lacs du Moulin».

3.2 Indice de qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP₆)

L'indice de qualité bactériologique et physico-chimique est un indicateur de la qualité générale de l'eau basé sur des descripteurs de la composition physico-chimique et de la qualité bactériologique. Il permet d'évaluer la qualité de l'eau d'une rivière en fonction des principaux usages que sont la baignade, les activités nautiques, l'approvisionnement en eau à des fins de consommation, la protection de la vie aquatique et la protection du cours d'eau contre l'eutrophisation. Cet indice se base sur des mesures de concentrations de 6 paramètres, qui sont ensuite converties en sous-indices à l'aide d'une courbe d'appréciation de la qualité de l'eau spécifique à chaque descripteur, celle-ci étant établie par Hébert (1997) (tableau 1). Les paramètres sélectionnés sont : les coliformes fécaux (CF), la chlorophylle α totale (CHLOA), l'azote ammoniacal (NH₃), les nitrites et nitrates (NO_x), le phosphore total (P_{TOT}) et les matières en suspension (MES).

Tableau 1: Valeurs-seuil des sous-indices de l'IQBP₆ basées sur les courbes d'appréciation (Hébert, 1997)

Valeurs-seuil du sous-indice	Coliformes fécaux (UFC/100ml)	Chlorophylle α totale (μ g/L)	Azote ammoniacal (mg-N/L)	Nitrite et nitrates (mg-N/L)	Phosphore total (mg/L)	Matières en suspension (mg/L)
80-100	≤200	≤5,70	≤0,23	≤0,50	≤0,030	≤6
60-79	201-1000	5,71-8,60	0,24-0,50	0,51-1,00	0,031-0,050	7-13
40-59	1001-2000	8,61-11,10	0,51-0,90	1,01-2,00	0,051-0,100	14-24
20-39	2001-3500	11,1-13,90	0,91-1,50	2,01-5,00	0,101-0,200	25-41
0-19	>3501	>13,90	>1,50	>5,00	>0,200	>41

Cet indice est de type discriminant, c'est-à-dire que pour déterminer l'IQBP₆ global, il faut se référer au sous-indice ayant la valeur la plus faible. Il est aussi adimensionnel, il varie de 0 à 100 et se compose de 5 classes de qualité (tableau 2), permettant de définir une qualité globale du cours d'eau.

Tableau 2: Classe de qualité de l'eau en fonction des valeurs-seuil des sous-indices de l'IQBP₆

Classe IQBP	Classe de qualité de l'eau
A (80-100)	Bonne
B (60-79)	Satisfaisante
C (40-59)	Douteuse
D (20-39)	Mauvaise
E (0-19)	Très mauvaise

La mesure de la concentration des coliformes fécaux est utilisée comme un indicateur de contamination microbiologique. Les coliformes fécaux sont des microorganismes présents naturellement dans le système digestif des humains et des animaux à sang chaud. La présence de coliformes fécaux dans l'eau est associée au développement de microorganismes pathogènes d'origine fécale et leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution induite par les matières fécales (CEAEQ, 2000). Les coliformes fécaux sont mesurés en UFC (unités formant des colonies).

La chlorophylle α totale correspond à la somme des concentrations en chlorophylle α et en phéophytine A, molécule associée à la première (CEAEQ, 2012). La chlorophylle α est un des pigments végétaux responsables de la photosynthèse. Cet indicateur est représentatif de la quantité de phytoplancton dans le milieu aquatique et peut signaler, lorsque des concentrations élevées sont mesurées, un problème d'eutrophisation (MELCC, 2018a). Cette variable est mesurée en $\mu\text{g/L}$.

L'azote ammoniacal est une forme d'azote qui est toxique pour la vie aquatique (MELCC, 2018a). Dans le milieu naturel, il est faiblement présent. Les principaux apports dans les eaux de surface proviennent principalement des activités humaines : lessivage des terres agricoles et des eaux usées d'origine municipale et industrielle (MELCC, 2018a). Il est donc un bon indicateur de la présence d'activités anthropiques dans le bassin versant. L'azote ammoniacal est mesuré en mg/L .

Le phosphore est un élément essentiel au développement des organismes végétaux. Il est présent dans les milieux naturels et constitue un élément limitant pour la croissance du phytoplancton et des plantes aquatiques (MELCC, 2018a). Une forte concentration de phosphate dans les milieux aquatiques peut mener à une croissance excessive des végétaux et des algues (dont les cyanobactéries), contribuant ainsi au processus d'eutrophisation des lacs (MELCC, s.d.). Les principales sources de phosphore dans les milieux aquatiques proviennent du lessivage des sols agricoles utilisant des fertilisants, des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles ainsi que

des eaux de ruissellement des zones résidentielles et urbaines (CCME, 2003). Ce paramètre est mesuré en mg/L.

Les nitrites et nitrates sont deux formes d'ion d'azote. L'ion nitrate est la forme d'azote inorganique présente naturellement dans le milieu naturel tandis que l'ion nitrite, qui s'oxyde facilement en ion nitrate, n'est pas abondant dans le milieu hydrique (MELCC, 2018a). Le nitrate est une forme toxique de l'azote et peut favoriser la méthémoglobinémie infantile s'il est présent dans l'eau potable (MELCC, 2018a). Les rejets provenant des effluents industriels et municipaux ainsi que le lessivage des engrais agricoles sont les principales sources de nitrates dans les milieux aquatiques (MELCC, 2018a). Les concentrations pour ce paramètre sont mesurées en mg/L.

Les matières en suspension (MES) constituent toutes les particules solides et insolubles présentes dans la colonne d'eau. Les concentrations sont liées à la turbidité, car plus la teneur de l'eau en matières en suspension est élevée, moins elle sera limpide. Les MES sont acheminées dans le milieu hydrique par de multiples sources : naturelles, effluents municipaux et industriels, ruissellement des terres agricoles et retombées de matières particulaires atmosphériques (MELCC, 2018a). Elles peuvent s'avérer problématiques lors de la construction de nouvelles habitations, par exemple si l'érosion et l'apport de sédiments de la zone en construction sont mal contrôlés. Elles sont mesurées en mg/L.

La période de prélèvement s'est échelonnée durant la saison estivale, soit de mai à octobre 2018, car c'est durant celle-ci que la vie aquatique et les usages associés aux cours d'eau se voient le plus affectés par les divers paramètres bactériologiques et physico-chimiques de l'eau. Conformément à la méthodologie destinée à l'analyse de l'IQBP (Hébert et *al.*, 1997), l'échantillonnage s'échelonne sur une base mensuelle durant la campagne de suivi, dont au moins trois prélèvements ont été réalisés par temps de pluie (tableau 3).

Tableau 3: Détails de l'effort d'échantillonnage 2018 et conditions météorologiques

Date (jj-mm-aaaa)	Temp moy.(°C) ¹	Précip. tot. (mm) ¹	Conditions météorologiques
14/05/2018	13,4	0,2	
11/06/2018	13,7	0	
14/06/2018	8,7	14,3	
09/07/2018	16,1	0	
13/08/2018	21,9	0	
22/08/2018	18,4	16,6	
29/08/2018	18,5	13,9	
10/09/2018	10,8	0,5	
09/10/2018	13,2	11,1	

¹ : Données d'Environnement Canada aux stations météorologiques Aéroport Jean-Lesage (701S001) et Sainte-Foy (U. Laval) (Gouvernement du Canada, 2018). En rouge : les 4 temps de pluie.

La méthode d'échantillonnage consiste au prélèvement d'eau de la rivière en prenant toutes les précautions nécessaires afin d'éviter la contamination ou l'altération des échantillons (figure 4). À l'aide d'une épuisette préalablement rincée au moins trois fois, l'ensemble des 6 bouteilles stériles, identifiées et fournies par le ministère de l'Environnement (MELCC), sont remplies jusqu'à épaulement (figure 5). Elles sont ensuite scellées adéquatement et conservées au frais dans une glacière lors du transport jusqu'au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) qui effectue l'analyse.

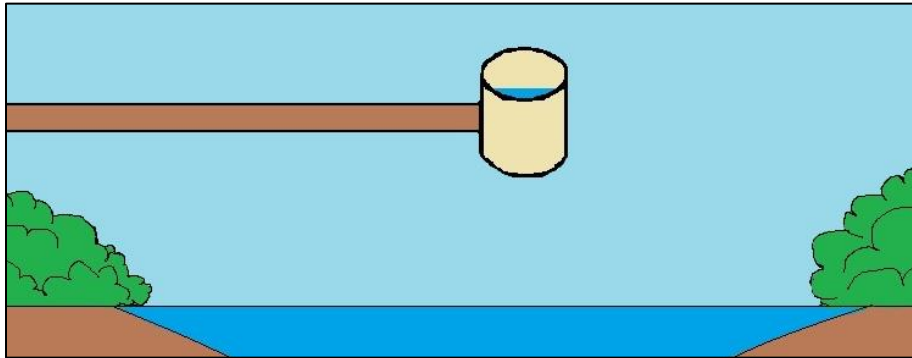


Figure 7: Schématisation de l'épuisette utilisée lors de l'échantillonnage

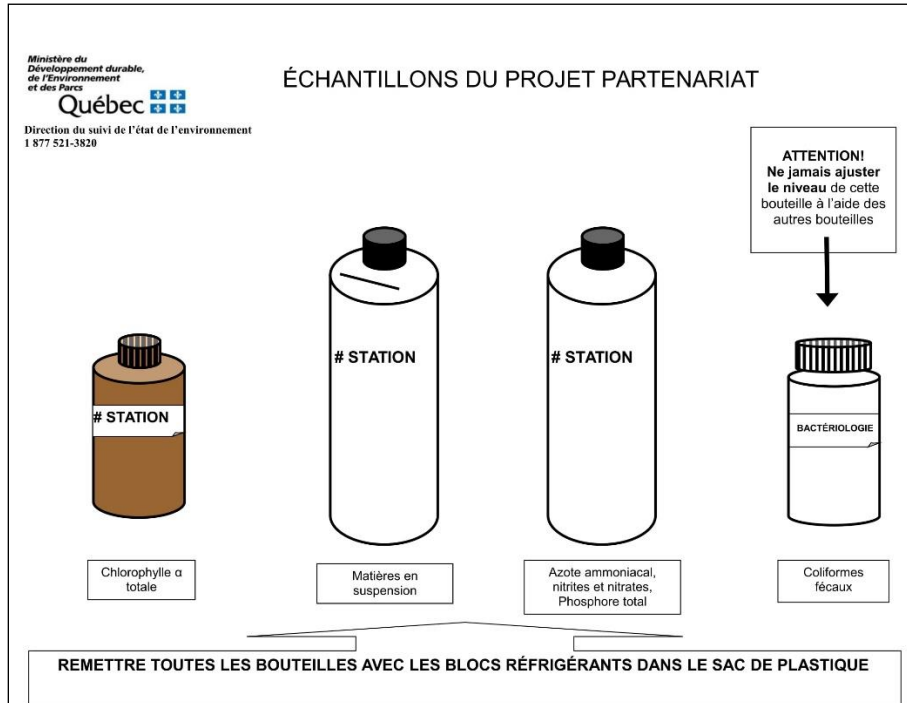


Figure 8: Spécificité des bouteilles d'échantillonnage (MELCC, 2017b)

3.3 Paramètres mesurés in situ

Des paramètres complémentaires à l'analyse de la qualité de l'eau ont été relevés directement sur le terrain pour les deux stations. Au total 5 autres descripteurs ont été suivis, soit la conductivité, le potentiel d'hydrogène (pH), la température, ainsi que deux autres paramètres qualitatifs, soient des observations quant à la transparence de l'eau ainsi que la présence/absence d'essence.

La conductivité électrique de l'eau dépend de sa concentration ionique et de sa température (Hébert et Légaré, 2000). Sa mesure permet d'apprécier les changements de la composition de l'eau et plus spécifiquement des concentrations minérales dans l'eau. Plus la valeur de la conductivité augmente, plus sa concentration en solide dissous est importante (Hébert et Légaré, 2000).

Le potentiel hydrogène (pH) sert à mesurer l'activité chimique des ions hydrogènes présents dans une solution. La valeur du pH influence la toxicité de plusieurs éléments et peut engendrer des réactions chimiques avec ceux-ci. Bien que le pH dépende en majorité de l'origine de l'eau et de la nature géologique du sous-sol, il varie aussi en fonction des pressions liées aux activités anthropiques (Hébert et Légaré, 2000). Les valeurs inférieures à 7 indiquent des conditions d'acidité tandis que celles supérieures indiquent des conditions alcalines ou basiques.

La température de l'eau intervient dans plusieurs processus d'ordre tant physico-chimiques que biologiques. En effet, la température détermine la capacité de dissolution de l'oxygène (Hébert et Légaré, 2000), c'est-à-dire la concentration potentielle maximale de cette molécule dans la colonne d'eau. Cette composante est déterminante pour le taux d'oxygénation des organismes hétérotrophes, dont l'oxygène est un élément essentiel au fonctionnement de leur métabolisme.

4. Résultats

4.1 Détermination de l'IQPB₆ à la station Waterloo #1 - Chemin des lacs

L'indice final pour la station Waterloo #1 - Chemin des lacs est de 75 et se réfère à la classe de qualité de l'eau «B» ou «Satisfaisante» (tableau 4), permettant généralement la plupart des usages de l'eau (Hébert, 1997).

Trois paramètres sont discriminants. Le principal paramètre est la concentration en nitrites et nitrates dont 4 échantillons sur 9 (44%) avaient des valeurs dépassants le critère. Le second est le taux de coliformes fécaux dont 3 échantillons sur 9 (33%) avaient des valeurs dépassants le critère.

Le troisième constitue la teneur de matières en suspension dont 2 échantillons sur 9 avaient des valeurs dépassants le critère (tableau 4).

Tableau 4: Valeurs des sous-indices des paramètres mesurés à la station Waterloo #1 - Chemin des lacs

Date	Coliformes fécaux	Chlorophylle α	Azote ammoniacal	Nitrites et nitrates	Phosphore total	Matières en suspension	Paramètre déclassant
2018-05-14	100	97	100	89	100	100	NOX
2018-06-11	95	97	100	83	100	100	NOX
2018-06-14	80	86	100	90	86	78	SS
2018-07-09	86	98	100	75	100	100	NOX
2018-08-13	0	98	100	76	100	100	CF
2018-08-22	59	92	100	82	100	78	CF
2018-08-29	0	85	100	75	68	46	CF
2018-09-10	81	99	97	80	100	100	NOX
2018-10-09	79	92	100	89	93	74	SS
IQBP₆	n=9						75

*Les valeurs en gris représentent les sous-indices retenus pour le calcul de l'IQBP₆

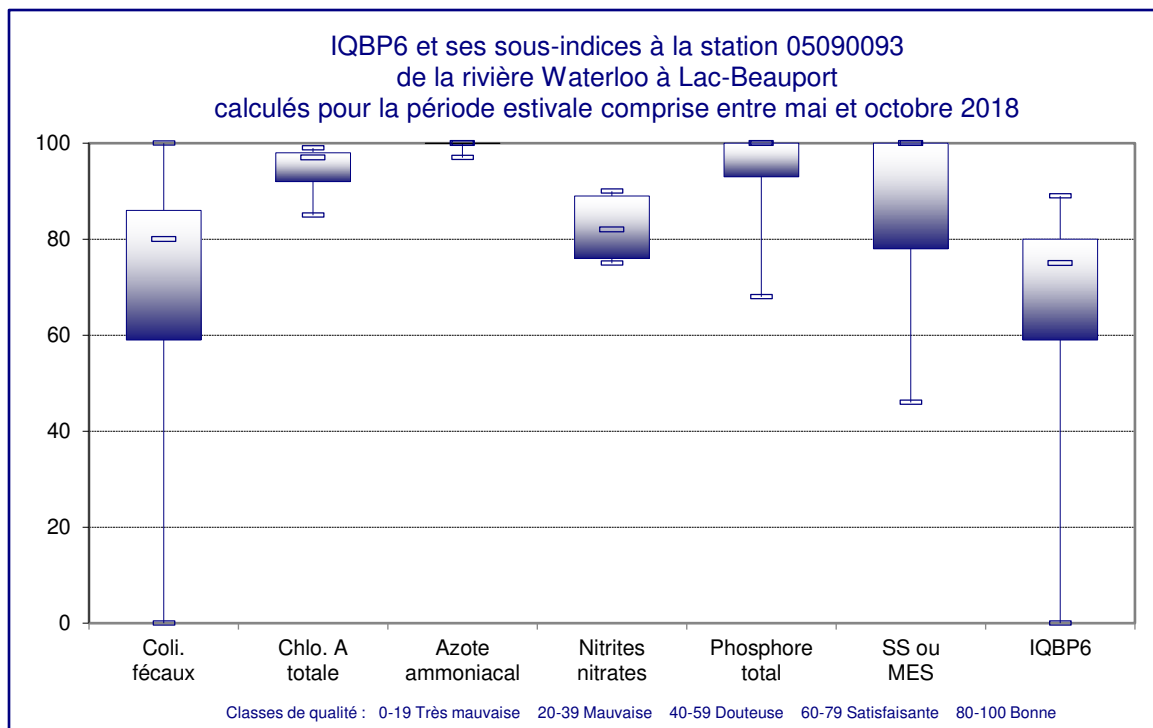


Figure 9: Valeurs de l'IQBP₆ et de ses sous-indices pour la station Waterloo #1 - Chemin des lacs

4.1.1 Coliformes fécaux

Le taux de coliformes fécaux est le second paramètre discriminant (tableau 4). Les concentrations en coliformes fécaux ont varié entre 3 et 6000 UFC/100 ml et les plus élevées se notent au mois d'août (tableau 5). La valeur médiane pour la période estivale est de 200 UFC/100 ml. Sur l'ensemble des 9 échantillons, deux concentrations mesurées (6 000 UFC/100ml) sont supérieures au seuil du critère d'usage secondaire établi à 1 000 UFC/100ml (MELCC, 2017a). Un total de quatre échantillons dépassent le seuil de protection des activités récréatives et de l'esthétique d'usage primaire de 200 UFC/100ml (MELCC, 2017a).

4.1.2 Matières en suspension

La concentration de matières en suspension est le troisième paramètre discriminant de l'IQBP₆. Les taux ont varié entre 0,5 et 20 mg/L (tableau 5) durant la période de suivi en 2018. La valeur médiane est de 1 mg/L. La quasi-totalité des mesures de ce paramètre reste relativement faible et est comprise dans les classes de qualité «Bonne» et «Satisfaisante». Seule une mesure plus élevée (20 mg/L), comprise dans la classe de qualité «Douteuse» selon les critères établis par Hébert (1997), a été relevée, et ce, en date du 29 août lors d'un échantillonnage en temps de pluie.

4.1.3 Chlorophylle α

Les concentrations en chlorophylle α ont varié entre 0,27 et 2,91 $\mu\text{g/L}$ durant la saison 2018 (tableau 5). La médiane de ce paramètre est de 1,34 $\mu\text{g/L}$ et correspond à la classe de qualité de l'eau «Bonne». Globalement, les valeurs de concentrations sont toutes faibles et respectent le seuil de qualité de l'eau «Bonne» ($\leq 5,70 \mu\text{g/L}$) établi par Hébert (1997).

4.1.4 Azote ammoniacal

Les concentrations d'azote ammoniacal varient de 0,01 à 0,04 mg-N/L entre les mois de mai et octobre 2018 (tableau 5). La valeur médiane a été calculée à 0,01 mg-N/L et se situe dans la classe de qualité «Bonne». De fait, l'ensemble des valeurs est situé sous du seuil de la classe de qualité «Bonne» ($\leq 0,23 \mu\text{g/L}$) établi par Hébert (1997).

4.1.5 Nitrites et nitrates

Les concentrations en nitrites et nitrates constituent le principal paramètre discriminant. Elles ont varié entre 0,24 et 0,61 mg-N/L durant la saison estivale 2018 (tableau 5). La concentration médiane a été calculée à 0,44 mg-N/L et se classe dans la catégorie de qualité de l'eau «Bonne» ($\leq 0,5 \text{ mg-N/L}$). Trois mesures se situent dans la catégorie de qualité de l'eau «Satisfaisante» (0,51-

1,00 mg-N/L). Aucun échantillon ne dépasse le critère de protection de la vie aquatique, effet chronique, soit une concentration supérieure à 2,9 mg-N/L (CCME, 2003).

4.1.6 Phosphore total

Les concentrations en phosphore total, durant la période de suivi estivale, comprennent des valeurs mesurées entre 0,001 et 0,041 mg/L (tableau 5). La valeur médiane est de 0,004 mg/L et correspond à la classe de qualité «Bonne» selon les critères établis par Hébert (1997) tout comme la majorité des valeurs mesurées. Le seuil de protection de la vie aquatique, effet chronique, de 0,03 mg/L (CCME, 2003; MELCC, 2017a) a été dépassé une fois pendant la saison de suivi, soit le 29 août avec une concentration de 0,041 mg/L, ce qui correspond à la catégorie «Satisfaisante» selon Hébert (1997), pour ce paramètre.

Tableau 5: Concentrations mesurées pour chaque paramètre à la station Waterloo #1 - Chemin des lacs

Date	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	Chlorophylle α ($\mu\text{g/L}$)	Azote ammoniacal (mg-N/L)	Nitrites et nitrates (mg-N/L)	Phosphore total (mg/L)	Matière en suspension (mg/L)
2018-05-14	3	1.02	0.01	0.27	0.004	1.0
2018-06-11	23	0.80	0.01	0.40	0.004	1.0
2018-06-14	200	2.91	0.01	0.24	0.025	7.0
2018-07-09	110	0.34	0.01	0.61	0.001	0.5
2018-08-13	6000	0.33	0.01	0.58	0.001	1.0
2018-08-22	1000	1.31	0.01	0.44	0.014	7.0
2018-08-29	6000	2.15	0.01	0.61	0.041	20.0
2018-09-10	180	0.27	0.04	0.48	0.001	1.0
2018-10-09	220	2.08	0.01	0.27	0.020	8.0
Médiane	200	1.34	0.01	0.44	0.004	1

*En gris : temps de pluie. En rouge : dépassement des seuils. Les couleurs du texte correspondent aux catégories de classe de qualité d'eau établies pour chaque paramètre selon Hébert (1997).

4.2 Paramètres in situ – Station Waterloo #1 - Chemin des lacs

Les températures les plus basses ont été enregistrées aux mois de mai et octobre (8.8°C) et la plus élevée au mois d'août (18.2°C).

Les mesures de conductivité à la station Waterloo #1 - Chemin des lacs ont varié entre 39,3 et 71,5 $\mu\text{S/cm}$ (tableau 6). La valeur médiane calculée pour l'ensemble de la saison estivale est de 54,8 $\mu\text{S/cm}$. Bien qu'il n'existe aucun critère de conductivité quant à la protection des activités

récréatives, la plage de variation habituelle de la conductivité d'un petit cours d'eau varie entre 20 et 339 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Hébert et Légaré, 2000). Pour l'ensemble des échantillons, cet intervalle de variation n'a pas été dépassé.

Le pH mesuré a varié entre 6,2 et 7,75 durant l'été 2018 (tableau 6). La valeur médiane pour cette même période a été calculée à 7,42. Cette valeur respecte le critère établi pour la protection des activités récréatives et de l'esthétique, celui-ci étant de 6,5 à 8,5 (MELCC, 2017a). Toutefois, le 14 mai et le 11 juin, les valeurs de pH étaient inférieures à cette plage de valeurs, avec des pH respectifs de 6,2 et 6,41. Selon Hébert (1997), ces valeurs se situent dans la classe de qualité «C», c'est-à-dire «Douteuse». Aucune présence d'huile ou d'essence n'a été observée à la surface de l'eau lors de la campagne de suivi à la station Waterloo #1 - Chemin des lacs. Lors de l'échantillonnage en temps de pluie, le 14 juin l'eau était légèrement colorée et très turbide, alors que le 29 août l'eau était de couleur brune.

Tableau 6: Paramètres *in situ* mesurés à la station Waterloo #1 - Chemin des lacs

Date	Température (°C)	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Observations	Présence Huile /essence
2018-05-14	8.8	39.3	6.2		
2018-06-11	12.0	48.5	6.41		
2018-06-14	11.5	45.3	6.66	légèrement colorée	
2018-07-09	15.3	54.8	7.08		
2018-08-13	18.2	71.5	7.75		
2018-08-22	15.8	78.9	7.42		
2018-08-29	16.2	96.5	7.47	très turbide/brune	
2018-09-10	11.4	65.2	7.71		
2018-10-09	8.8	40.8	7.53		
Médiane	N/A	54,8	7,42	N/A	N/A

*En gris : temps de pluie

4.3 Détermination de l'IQPB₆ à la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin

L'indice final de la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin est de 77 et se réfère à la classe de qualité de l'eau «B» ou «Satisfaisante» (tableau 7), permettant généralement la plupart des usages de l'eau (Hébert, 1997).

Trois paramètres sont discriminants ; les principaux paramètres sont la concentration en nitrites et nitrates ainsi que la concentration de matières en suspension dont 4 échantillons sur 9 (44%) avaient des valeurs dépassants le critère. Puis au second rang, figure le taux de coliformes fécaux dont 1 échantillon sur 9 (11%) avait des valeurs surpassant le critère (tableau 7).

Tableau 7: Valeurs des sous-indices des paramètres mesurés à la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin

Date	Coliformes fécaux	Chlorophylle α	Azote ammoniacal	Nitrites et nitrates	Phosphore total	Matière en suspension	Paramètre déclassant
2018-05-14	100	99	99	92	100	100	NOX
2018-06-11	100	97	100	87	100	100	NOX
2018-06-14	82	95	99	93	93	78	SS
2018-07-09	91	96	100	77	100	100	NOX
2018-08-13	92	97	100	78	100	74	SS
2018-08-22	76	96	99	89	94	81	CF
2018-08-29	55	68	97	88	41	8	SS
2018-09-10	100	99	96	82	100	100	NOX
2018-10-09	88	97	100	92	84	66	SS
IQBP₆	n=9						77

*Les valeurs en gris représentent les sous-indices retenus pour le calcul de l'IQBP₆

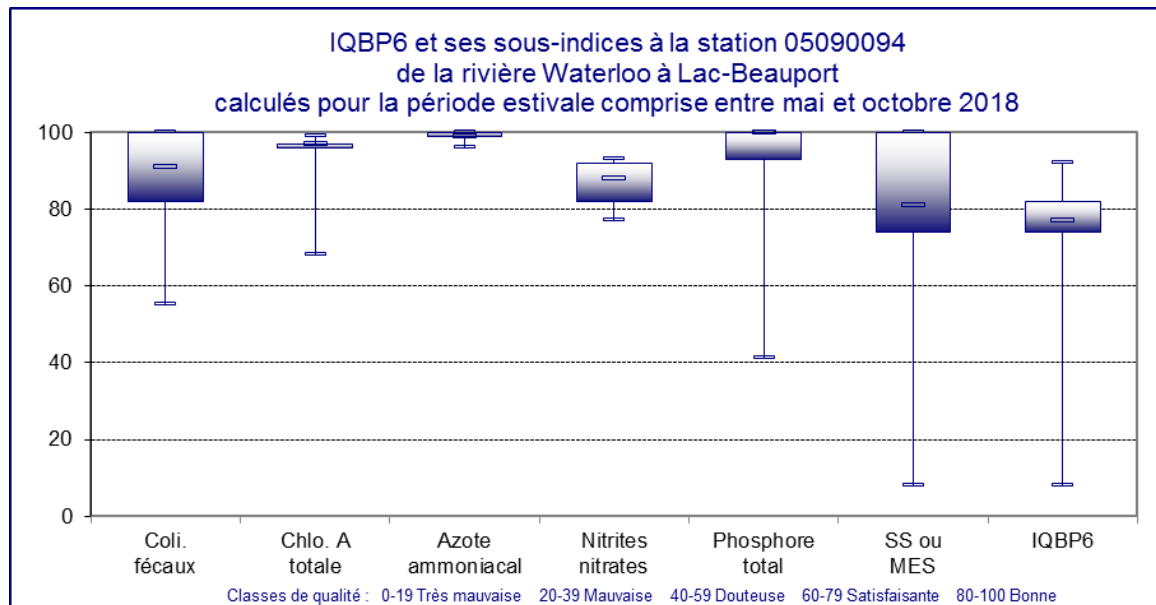


Figure 10: Valeurs de l'IQBP6 et de ses sous-indices pour la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin

4.3.1 Coliformes fécaux

Le taux de coliformes fécaux est le troisième paramètre discriminant pour l'échantillonnage du 22 août (tableau 4). Pour l'ensemble des échantillons, les concentrations en coliformes fécaux ont varié entre 2 et 1200 UFC/100 ml (tableau 8). La valeur médiane pour la période estivale est de 62 UFC/100 ml. Une seule des concentrations mesurées (1200 UFC/100 ml) est supérieure au seuil du critère d'usage secondaire, établi à 1 000 UFC/100ml (MELCC, 2017a), et un seul des échantillons (310 UFC/100 ml) dépasse le seuil de protection des activités récréatives et de l'esthétique d'usage primaire qui est de 200 UFC/100ml (MELCC, 2017a). Ces dépassements correspondent à des échantillonnages en temps de pluie. Tous les autres respectent ce critère durant la période de suivi de 2018.

4.3.2 Matières en suspension

La concentration de matières en suspension est un des principaux paramètres discriminants de l'IQBP₆. Les taux ont varié entre 1 et 60 mg/L (tableau 8) durant la période de suivi en 2018. La valeur médiane est de 6 mg/L. Presque toutes les mesures pour ce paramètre sont comprises dans les classes de qualité «Bonne» et «Satisfaisante» selon les critères établis par Hébert (1997). Or, en date du 29 août, jour de pluie, la concentration relevée de 60 mg/L se situe dans la classe de qualité «Très mauvaise».

4.3.3 Chlorophylle α

Les concentrations en chlorophylle α ont varié entre 0,19 et 3,24 $\mu\text{g/L}$ durant la saison 2018 (tableau 8). La médiane de ce paramètre est de 1,30 $\mu\text{g/L}$ et correspond à la classe de qualité de l'eau «Bonne». L'ensemble des valeurs mesurées ont de faibles concentrations et toutes respecte le seuil de qualité de l'eau «Bonne» ($\leq 5,70 \mu\text{g/L}$) établi par Hébert (1997).

4.3.4 Azote ammoniacal

La concentration d'azote ammoniacal est également un des principaux paramètres discriminants de l'IQBP₆. Les taux varient de 0,01 à 0,05 mg-N/L entre les mois de mai et octobre 2018 (tableau 8). La valeur médiane a été calculée à 0,02 mg-N/L et se situe dans la catégorie de qualité «Bonne». L'ensemble des valeurs sont situées sous le seuil de la classe de qualité «Bonne» ($\leq 0,23 \mu\text{g/L}$) établi par Hébert (1997).

4.3.5 Nitrites et nitrates

Les concentrations en nitrites et nitrates ont varié entre 0,17 et 0,55 mg-N/L durant la saison estivale 2018 (tableau 8). La concentration médiane a été calculée à 0,29 mg-N/L et celle-ci se classe dans la catégorie de qualité de l'eau «Bonne» ($\leq 0,5$ mg-N/L). L'ensemble des mesures se situe également dans cette catégorie de qualité de l'eau, à l'exception de deux valeurs qui dépassent légèrement ce seuil (0,55 mg-N/L et 0,53 mg-N/L). Aucun échantillon n'excède le critère de protection de la vie aquatique, effet chronique, soit une concentration de 2,9 mg-N/L (CCME, 2003).

4.3.6 Phosphore total

Les concentrations en phosphore total, durant la période de suivi estivale, comprennent des valeurs mesurées entre 0,001 et 0,096 mg/L (tableau 8). La valeur médiane calculée est de 0,008 mg/L. Cette valeur ainsi que la majorité des valeurs mesurées correspondent à la classe de qualité «Bonne» selon les critères établis par Hébert (1997). Le seuil de protection de la vie aquatique, effet chronique, de 0,03 mg/L (CCME, 2003; MELCC, 2017a), a été dépassé une seule fois pendant la saison de suivi. Il s'agit de la concentration de phosphore total de 0,096 mg/L, mesurée le 29 août 2018 en temps de pluie qui se classe comme étant «Douteuse» selon Hébert (1997).

Tableau 8: Concentrations mesurées pour chaque paramètre à la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin

Date	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	Chlorophylle α ($\mu\text{g/L}$)	Azote ammoniacal (mg-N/L)	Nitrites et nitrates (mg-N/L)	Phosphore total (mg/L)	Matière en suspension (mg/L)
2018-05-14	5	0.25	0.02	0.19	0.006	1.0
2018-06-11	2	0.58	0.01	0.32	0.004	1.0
2018-06-14	170	1.29	0.02	0.17	0.020	7.0
2018-07-09	62	0.97	0.01	0.55	0.005	1.0
2018-08-13	58	0.80	0.01	0.53	0.008	8.0
2018-08-22	310	0.68	0.02	0.27	0.019	6.0
2018-08-29	1200	3.24	0.04	0.29	0.096	60.0
2018-09-10	8	0.19	0.05	0.44	0.001	1.0
2018-10-09	90	0.47	0.01	0.20	0.026	11.0
Médiane	62	1,3	0,02	0,29	0,008	6,0

*En gris : temps de pluie. En rouge : dépassement des seuils. Les couleurs du texte correspondent aux catégories de sss classe de qualité d'eau établies pour chaque paramètre selon Hébert (1997).

4.4 Paramètres in situ – Station Waterloo #2 - Chemin du Moulin

La température la plus basse a été enregistrée au mois de mai (7.4°C) et la plus élevée au mois d'août (14.6°C).

Les mesures de conductivité à la station Chemin du Moulin ont varié entre 24,7 et 60 µS/cm (tableau 9). La valeur médiane calculée pour l'ensemble de la saison estivale est de 40,4 µS/cm. Bien qu'il n'existe aucun critère sur la protection des activités récréatives pour la conductivité, la plage de variation habituelle de cette variable pour un petit cours d'eau varie entre 20 et 339 µS/cm (Hébert et Légaré, 2000). Pour l'ensemble des échantillons, cet intervalle de variation n'a pas été dépassé.

Le pH mesuré a varié entre 6,05 et 7,97 durant l'été 2018 (tableau 9). La valeur médiane pour cette même période a été calculée à 6,9. Cette valeur respecte le critère établi pour la protection des activités récréatives et de l'esthétique qui est de 6,5 à 8,5 (MELCC, 2017a). On note qu'à deux reprises, les valeurs étaient inférieures à cette plage durant la période de suivi, soit le 14 mai et le 14 juin, avec des valeurs de pH de 6,05 et 6,19 respectivement. Selon Hébert (1997), ces valeurs se situent dans la classe de qualité «C», c'est-à-dire «Douteuse». Aucune présence d'huile ou d'essence n'a été observée à la surface de l'eau lors de la campagne de suivi à la station Chemin du Moulin. Lors des échantillonnages en temps de pluie, l'eau était légèrement colorée le 14 juin, très turbide et de couleur brune le 29 août et légèrement trouble le 9 octobre alors que des travaux étaient entamés aux Sentiers du Moulin.

Tableau 9: Paramètres in situ mesurés à la station Waterloo #2 - Chemin du Moulin

Date	Température (°C)	Conductivité (µS/cm)	pH	Observations	Présence Huile /essence
2018-05-14	7.4	24.7	6.05		
2018-06-11	10.2	27	6.52		
2018-06-14	9.3	40.4	6.19	légèrement colorée	
2018-07-09	12.0	46.5	6.85		
2018-08-13	14.6	44.9	7.75		
2018-08-22	13.4	40.1	7.03		
2018-08-29	14.2	60	6.9	très turbide/brune	
2018-09-10	9.5	44.2	7.75		
2018-10-09	8.5	32.2	7.97	un peu trouble, travaux	
Médiane	NA	40.4	6,9	NA	NA

*En gris : temps de pluie

5. Discussion

L'analyse de l'IQBP₆ révèle que la qualité globale de l'eau de la rivière Waterloo, après avoir traversé un secteur boisé et semi-urbanisé, s'avère «Satisfaisante» selon les courbes d'appréciation établies par Hébert (1997). À la lumière de l'ensemble des résultats obtenus pendant le suivi de mai à octobre 2018, l'indice global est similaire en amont et en aval, avec un résultat de 77 pour la station Chemin du Moulin et de 75 pour la station Chemin des lacs. De manière générale, les concentrations des paramètres évalués correspondent aux catégories de qualité d'eau «Bonne» ou «Satisfaisante», permettant ainsi la plupart des usages de l'eau. Toutefois, l'analyse a mis en évidence des concentrations parfois élevées en coliformes fécaux, en phosphore et en matières en suspension aux deux stations d'échantillonnage, et particulièrement en temps de pluie. De fait, l'échantillonnage du 29 août compte les dépassements les plus élevés aux deux stations où une eau turbide et de couleur brune a été observée. Pour les deux sites échantillonnés, le principal paramètre discriminant s'est avéré être la concentration en nitrites et nitrates (44%). Or, à la station Chemin du Moulin, la concentration de matière en suspension (44%) s'est également révélée comme paramètre discriminant principal. Le taux de coliformes fécaux représentent le second facteur pour la station Chemin des lacs (33%) et le troisième pour la station Chemin du Moulin (11%).

Les résultats de l'échantillonnage obtenus pour chaque station correspondent au profil général de l'ensemble du bassin versant de la rivière Waterloo. Les observations concordent ainsi avec les impacts anthropiques d'un territoire semi-urbanisé et caractérisé par des activités récréotouristiques en zone boisée. Les valeurs élevées en temps de pluie témoignent de la pollution diffuse causée par le ruissellement urbain et forestier.

5.1 Nitrites et nitrates

Aux deux stations, la concentration de nitrites et nitrates se révèle comme étant le principal paramètre discriminant. La majorité des mesures se situent dans la catégorie de qualité de l'eau «Bonne» à l'exception de quelques valeurs qui se trouvent dans la catégorie «satisfaisante» c'est-à-dire qui excèdent le critère de 0,50 mg/L (Hébert, 1997). Néanmoins, ces résultats permettent la plupart des usages de l'eau et aucun échantillon ne dépasse le critère de protection de la vie aquatique, effet chronique, soit une concentration de 2,9 mg-N/L (CCME, 2003). Les taux observés

ne sont donc pas alarmants, le plus élevé étant de 0,61 mg/L à la station Chemin des lacs et les autres taux se situant dans la plage de variation moyenne associée aux eaux des rivières du Québec pour ce paramètre (CEAEQ, 2015). Cela dit, les résultats dénotent tout de même l'incidence de ce paramètre sur la qualité de l'eau de la rivière Waterloo. De plus, les conséquences que peuvent engendrer des excès de nitrites et de nitrates au niveau de la santé publique et des milieux aquatiques ne sont pas à négliger. Le lessivage des nitrates entraîne la contamination des eaux souterraines qui deviennent alors impropres à la consommation et contribue à accélérer le processus d'eutrophisation des cours d'eau (Chambers et al., 2001, OBV de la Capitale, 2015b).

La présence des ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-) dans l'environnement résulte de la nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+) naturellement présent dans l'eau et le sol. Les nitrites se retrouvent rarement en concentration significative dans les eaux naturelles, car en présence d'oxygène, les microorganismes transforment rapidement l'ion nitrite en ion nitrate (CEAEQ, 2015). Ainsi, les nitrates constituent la forme préférentielle d'absorption de l'azote par les plantes et la forme la plus abondante d'azote inorganique retrouvée dans les eaux naturelles (INSPQ, 2016). Étant très solubles, les nitrates sont aisément transportés lorsque les concentrations surpassent les besoins de la végétation (*Ibid*).

Les excès de nitrates dans les milieux aquatiques sont attribuables aux activités anthropiques qui en sont une importante source d'émission. En effet, les rejets provenant des effluents industriels et municipaux ainsi que le lessivage des engrais agricoles en constituent les principaux vecteurs (MELCC, 2018a). Puisque les activités agricoles s'avèrent inexistantes dans le bassin versant de la rivière Waterloo, la présence de zones partiellement urbanisées et d'installations septiques non conformes peut expliquer les apports de nitrates dans le cours d'eau. Les concentrations de nitrates présentes dans les eaux souterraines et de surface en milieu urbain peuvent aussi être attribuées aux effluents provenant de l'épandage de fertilisants sur les terrains de golf (Dubrosky et al., 2010; Santé Canada, 2013). Le golf du Mont Tourbillon à proximité pourrait donc constituer une source de nitrites et de nitrates pour la rivière Waterloo.

5.2 Matières en suspension et phosphore

L'analyse a pu mettre en évidence les concentrations de matières en suspension les plus élevées à la station Chemin du Moulin. Il s'agit d'ailleurs du principal paramètre discriminant à cette station (médiane 6 mg/L) et du troisième à la station Chemin des lacs (médiane 1 mg/L) ce qui confirme les préoccupations quant à ce paramètre, notamment pour l'ichtyofaune. Aux deux stations, les échantillons du 29 août se démarquent avec des résultats de qualité de l'eau de catégorie «Douteuse» ou «Très mauvaise», mais également avec des concentrations élevées en phosphore. En cette date, un excès du seuil de protection de la vie aquatique, effet chronique, de 0,03 mg/L a été relevé à chaque station en ce qui a trait à ce paramètre (CCME, 2003; MELCC 2017a). Somme toute, c'est par temps de pluie que les taux de MES et de phosphore les plus grands ont été observés.

Les MES composent toutes les particules solides et insolubles qui se retrouvent en suspension dans l'eau par l'entremise de causes naturelles et/ou anthropiques. L'érosion des rives et du sol, le ruissellement, les retombées atmosphériques en constituent des sources tout comme les rejets municipaux, industriels et agricoles (Hébert et Légaré, 2000). Une forte abondance de MES réduit la pénétration de la lumière dans le milieu aquatique diminuant ainsi la zone photique nécessaire aux organismes photosynthétiques. De plus, la sédimentation accrue par les MES peut avoir un effet sur la faune ichtyologique de par l'abrasion des branchies et le colmatage des frayères (MELCC, s.d.). Les fertilisants utilisés en agriculture, les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles ou encore les eaux de ruissellement des zones résidentielles et urbaines contribuent aux apports de phosphore dans les cours d'eau (CCME, 2003). Bien qu'il s'agisse d'un élément nutritif essentiel, ce nutriment favorise le processus d'eutrophisation lorsqu'il est en excès (MELCC, s.d.).

Les concentrations de MES sont étroitement liées aux concentrations de phosphore, élément qui peut être adsorbé sur les particules de sol et ainsi être transporté par ruissellement sous l'effet de l'érosion (OBV de la Capitale, 2015b). De toute évidence, les conditions climatiques et les caractéristiques du milieu influencent les taux de phosphore retrouvés dans la rivière Waterloo. Comme le démontrent les résultats, les événements pluvieux amplifient les processus naturels de ruissellement et d'érosion. Par ailleurs, au vu des concentrations observées, il est probable que les interventions réalisées près berges du cours d'eau au fil des années et que l'érosion des sentiers récréotouristiques favorisent les apports de MES et de phosphore dans la rivière. En effet, les activités forestières dans un bassin versant sont susceptibles de modifier les régimes hydrologiques, sédimentologiques, thermiques, mais également les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (St-Onge et *al.*, 2001). Depuis 2003, l'augmentation du développement

résidentiel à proximité de la rivière Waterloo et l'ouverture des chemins forestiers sur le versant nord-ouest du mont Tourbillon ont largement altéré les massifs forestiers du bassin versant (Thibault, 2017). De surcroît, les pentes abruptes, telles que retrouvées dans ce secteur de la rivière Waterloo, accentuent la vitesse d'écoulement de l'eau qui entraîne les particules du sol sur une plus longue distance (Pickering et al., 2010).

D'une part, les Sentiers du Moulin se caractérisent présentement par divers type de pistes dont plusieurs kilomètres sont alloués au vélo de montagne, au «fatbike», à la randonnée pédestre et au ski de fond. L'achalandage sur les sentiers et les manœuvres réalisées durant la pratique du vélo de montagne maintiennent les sols à nu et compactés ce qui engendre des taux de sédimentation supérieurs aux sols végétalisés et perméables (Pickering et al., 2010). En outre, plusieurs facteurs tels que le type de sol (caractère érodable) et le relief ont une incidence sur les effets causés par le vélo de montagne (Quinn et Chernoff, 2010). D'autre part, la quantité de MES acheminée dans le milieu hydrique peut s'avérer importante lors de la construction de nouvelles habitations, lorsque l'érosion et l'apport de sédiments sur le chantier sont mal contrôlés (MELCC, 2014). Au courant de l'été 2018 s'est entamée la construction d'un nouveau pavillon aux Sentiers du Moulin, et ce, pendant la période d'échantillonnage (Martin, 2018). À cet égard, les résultats ont démontré les répercussions des travaux sur la qualité de l'eau. Enfin, l'absence de bande riveraine ainsi que les installations septiques non-conformes peuvent s'avérer une source de phosphore dans la rivière Waterloo.

5.3 Coliformes fécaux

Au vu des données mesurées pendant la période estivale, c'est à la station Chemin des lacs que la majorité des concentrations de coliformes fécaux atteint ou dépasse le critère d'usage primaire de 200 UFC/100 ml (MELCC, 2017a). En période de pluie, on note l'occurrence de deux pics considérables (6000 UFC/100 ml) excédant le critère d'usage secondaire de 1000 UFC/100 ml, ce qui compromet toutes les activités impliquant un contact avec l'eau. Il s'agit du second paramètre discriminant à cette station et du troisième à la station Chemin du Moulin. Cette dernière compte des valeurs moins élevées, mais tout de même deux dépassements des critères primaire et secondaire en temps de pluie.

Les coliformes fécaux proviennent principalement des matières fécales produites par les humains et les animaux à sang chaud (MELCC, 2018a). Leur présence dans l'eau peut donc indiquer une contamination d'origine fécale et la présence potentielle de microorganismes pathogènes pouvant causer des maladies chez les animaux ou les humains suite à une ingestion ou un contact avec l'eau contaminée (Gouvernement du Québec, s.d.). Selon Hébert et Légaré (2000), hormis

les sources agricoles, les coliformes fécaux présents dans l'eau peuvent provenir des rejets d'eaux usées municipales, des installations septiques non conformes, des raccordements inversés et du ruissellement urbain. Les taux de coliformes fécaux observés dans la rivière Waterloo à la station Chemin des lacs confirment ces apports potentiels, ce secteur du bassin versant étant un milieu semi-urbanisé au pris avec ces enjeux.

Comme en témoignent les résultats, l'urbanisation occupe un rôle important quant aux apports en coliformes fécaux, notamment en raison des effets amplificateurs de l'imperméabilisation des surfaces sur le ruissellement lors d'épisodes pluvieux. La municipalité de Lac-Beauport compte plusieurs nouveaux développements dans le bassin versant de la rivière Jaune entre autres à proximité de la rivière Waterloo, un de ses principaux tributaires (Roche, 2010). De plus, n'étant pas desservies par le réseau d'égouts sanitaire, un bon nombre de résidences isolées se trouvent à proximité des cours d'eau et peuvent constituer une source supplémentaire de CF (*Ibid*). Il en est de même pour les installations septiques du golf du Mont Tourbillon et des Sentiers du Moulin.

Lors de son passage à travers les zones urbanisées de Lac-Beauport, la qualité de l'eau de la rivière Jaune se dégrade, et ce, principalement en raison des concentrations de coliformes fécaux (Hébert, 2007; APEL, 2010, 2014). Son IQBP révèle des dépassements du seuil primaire pour ce paramètre à toutes les stations, particulièrement à la suite de fortes précipitations (APEL, 2014). Ainsi, à la lumière des résultats, la rivière Waterloo contribue probablement aux concentrations de coliformes fécaux retrouvés dans la rivière Jaune.

Une visite à la station Chemin du Moulin le printemps suivant, lors de la fonte des neiges, a permis de valider visuellement les résultats obtenus et les problématiques associées. Un apport de sédiments considérable a été observé sur place (voir annexe photographique). Des travaux de rénovation étaient en cours et les barrières à sédiments se démontraient inefficaces. L'absence de bande riveraine et la présence de plusieurs drains favorisaient le ruissellement direct vers le cours d'eau.

6. Conclusions et recommandations

Le suivi de la qualité de l'eau de la rivière Waterloo, à l'aide de l'indice de qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP₆), a révélé que globalement, l'eau du cours d'eau se situe dans la classe «satisfaisante» selon les critères établis par Hébert (1997). En effet, les concentrations s'avèrent «bonnes» et «satisfaisantes» pour presque l'ensemble des paramètres évalués et respectent le seuil de protection permettant la plupart des usages de l'eau.-Or, l'échantillonnage a permis de

cibler les principaux facteurs contrevenant à la qualité de la rivière. Particulièrement en temps de pluie, les concentrations élevées de phosphore, de matières en suspension et de coliformes fécaux témoignent de l'impact des activités anthropiques présentes dans le bassin versant. Bien qu'il s'agisse d'un paramètre discriminant aux deux stations, les taux de nitrites et de nitrates ne se sont pas révélés alarmants sur le plan de la protection de la vie aquatique.

L'analyse permet de supposer que le développement résidentiel et les activités récréotouristiques sont les causes principales d'atteinte à la qualité de l'eau de la rivière Waterloo. À la lumière des résultats, les effets amplificateurs de l'urbanisation et de l'altération des massifs forestiers sur le ruissellement contribuent aux apports de contaminants dans la rivière. La contribution potentielle en coliformes fécaux dans la rivière Jaune ainsi que la problématique de sédimentation se sont vues confirmées. Les résidences non desservies par le réseau sanitaire peuvent également constituer une source de coliformes fécaux et de phosphore. D'après les concentrations relevées à la station Chemin du Moulin et les observations faites lors de la fonte des neiges, le développement, les périodes de construction et les activités récréotouristiques pratiquées aux Sentiers du Moulin ont une incidence sur les apports de MES. Ce secteur du bassin versant, caractérisé par de fortes pentes, se voit au pris par des sols mis à nu et compactés qui augmentent les processus naturels de ruissellement et d'érosion.

Les concentrations de matières en suspension et de coliformes fécaux représentent les paramètres principaux sur lesquels des actions pourraient être mises en place afin d'améliorer la qualité de l'eau sur l'ensemble de la rivière Waterloo et des cours d'eau en aval. Puisque les eaux de la rivière Jaune parviennent ultimement à la rivière Saint-Charles en amont de la prise d'eau potable de l'usine de traitement de l'eau de Québec, la mauvaise qualité de l'eau se veut un enjeu préoccupant. En effet, le cours d'eau a un effet additif lorsqu'elle rencontre la rivière Saint-Charles également affectée par la contamination d'origine fécale (APEL, 2014, Roche, 2010). Tel que mentionné, les épisodes de pluie s'avèrent particulièrement importants quant à cet enjeu. Ainsi, en zone semi-urbanisée, une gestion des eaux pluviales efficace est essentielle afin d'atténuer la pollution diffuse et d'améliorer la qualité de l'eau de la rivière. Réduire et limiter les surfaces imperméables devraient être des actions à prioriser entre autres par l'entremise des phytotechnologies et d'ouvrages de rétention.

Au nord du bassin versant, le secteur boisé contribue à la bonne qualité de l'eau et il serait important de le préserver. Limiter l'érosion et le transport sédimentaire par ruissellement constitue un moyen de contraindre les atteintes à la qualité de l'eau et par le fait même, les répercussions sur l'omble de fontaine et la vie aquatique. Minimiser l'érosion des sentiers et

conformer les chemins forestiers au Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État (RNI) seraient également bénéfique à cet effet.

En ce qui a trait aux chantiers de construction et travaux d'aménagement, il serait de mise d'exiger l'intégration de bonnes pratiques en matière de contrôle de l'érosion. La conformité des installations septiques et la présence de bandes de protection riveraines se veulent tout aussi primordiales quant à l'amélioration de la qualité de l'eau de la rivière Waterloo. Il serait pertinent de faire la lumière sur les impacts du Golf du Mont Tourbillon, notamment en ce qui concerne les apports potentiels en nitrites et nitrates provenant des fertilisants épandus.

Enfin, ces recommandations visent à répondre aux enjeux soulevés par le suivi de la qualité de l'eau et s'accordent au Plan d'action de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ), réalisé par Roche (2014) en ce qui a trait au bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles.

Références

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du nord (APEL), 2010. Suivi des rivières du haut-bassin de la rivière Saint-Charles. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du nord, 38 pages + 1 annexe. [En ligne] : http://www.apel-maraisdunord.org/apel/assets/suivi_qe_rivieres_haut-bassin_-2009.pdf Page consultée le 15 avril 2019.

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du nord (APEL), 2014. Suivi des rivières du bassin versant de la rivière Saint-Charles - Campagne 2013, Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 150 pages. [En ligne] : http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/riviere_lorette/documents/DC4.pdf Page consultée le 15 avril 2019.

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du nord (APEL), Année inconnue. Fiches techniques : Lutte à l'érosion sur les chantiers de construction. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du nord, 16 pages. [En ligne] : https://www.apel-maraisdunord.org/apel/assets/fiches_tech_erosion_8oct.pdf Page consultée le 29 mai 2019.

Cantin, M., 2000. Situation de l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) dans la région de la Capitale-Nationale. Société de la faune et des parcs du Québec. Direction de l'aménagement de la faune de la Capitale-Nationale. Québec. 76 pages. [En ligne] : http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/r175-60_227/documents/DB17.pdf Page consultée le 28 novembre 2018.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), 2000. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 24 p. [En ligne] : <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA700FecEc10.pdf> Page consultée le 8 mars 2019.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), 2012. Détermination de la chlorophylle A : méthode par fluorométrie. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 16 p. [En ligne] : <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/METHODES/PDF/MA800CHLOR10.PDF> Page consultée le 8 mars 2019.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), 2015. [En ligne] : <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA303Nutriments.pdf> Page consultée le 8 mars 2019.

Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), 2003. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique. Le phosphore : cadre

canadien d'orientation pour la gestion des réseaux hydrographiques. [En ligne] : <http://www.ccme.ca/files/ceqg/fr/117.pdf>. Page consultée le 8 mars 2019.

Environnement et Changements climatiques Canada, 2016. Pollution de l'eau : érosion et sédimentation. [En ligne] : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/eau-aperçu/pollution-causes-effets/erosion-sedimentation.html> Page consultée le 4 avril 2019.

Chambers, P.A., Guy, M., Roberts, E.S., Kent, R., Charlton, M.N., Gagnon, C., Grove, G. et Foster, N., 2001. Les éléments nutritifs et leurs effets sur l'environnement au Canada. 4.3. Cours d'eau. 5.0 Effets toxiques-induits par l'ajout d'éléments nutritifs. Environnement et Changements Climatiques Canada, Ottawa (Ont.). 271 pages. [En ligne] : <http://publications.gc.ca/site/fra/9.640297/publication.html> Page consultée le 9 avril 2019.

Gouvernement du Canada, 2018. Rapport de données horaires pour le 11 juin 2018. [En ligne] : http://climat.meteo.gc.ca/climate_data/hourly_data_f.html?hlyRange=1996-07-17%7C2019-02-03&dlyRange=1997-11-13%7C2019-02-03&mlyRange=%7C&StationID=27377&Prov=QC&urlExtension=_f.html&searchType=stnProx&optLimit=specDate&Month=6&Day=11&StartYear=1840&EndYear=2018&Year=2018&selRowPerPage=25&Line=1&txtRadius=25&optProxType=navLink&txtLatDecDeg=46.8036111111111&txtLongitudeDecDeg=71.3816666666667&timeframe=1 Page consultée le 3 décembre 2018.

Hébert, S., 1997. Développement d'un indice de qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques ENVIRODOQ N° EN/970102, 20 pages + 4 annexes. [En ligne] : http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/rivieres/indice/IQBP.pdf Page consultée le 28 novembre 2018.

Hébert, S. et Légaré, S., 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Envirodoq no ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p. et 3 annexes. [En ligne] : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/rivieres/GuidecorrDernier.pdf Page consultée le 28 novembre 2018.

Hébert, S., 2007. État de l'écosystème aquatique du bassin versant de la rivière Saint-Charles : Faits saillants 2003-2005, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 11p. [En ligne] : http://www.environnement.gouv.qc.ca/Eau/bassinversant/bassins/stcharles/FS_St-Charles.pdf Page consultée le 28 novembre 2018.

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), 2016. Coliformes fécaux. [En ligne] : <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/coliformes-fecaux> Page consultée le 29 mars 2019.

Martin J.-P., 2018. Un nouveau bâtiment de services aux Sentiers du Moulin à Lac-Beauport. Radio-Canada. [En ligne]: <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1098478/construction-batiment-ski-velo-lac-beauport> Page consultée le 11 avril 2011.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2014. Guide de gestion des eaux pluviales : contrôle de l'érosion des cours d'eau (Chapitre 9). [En ligne] : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/Eau/pluviales/chap9.pdf> Page consultée le 29 mai 2019

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), Année inconnue, Rapport sur l'état de l'eau et des écosystèmes aquatiques au Québec [En ligne] : http://www.environnement.gouv.qc.ca/rapportsurleau/etat-eau-ecosysteme-aquatique-qualite-eau-quelle-situation_rivieres-fleuve.htm Page consultée le 29 mars 2019.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (MELCC), 2000 Portrait global de la qualité des eaux au Québec. [En ligne] : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/EAU/SYS-IMAGE/GLOBAL/GLOBAL2.HTM> Page consultée le 3 décembre 2018.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2017a. Critères de qualité de l'eau de surface. [En ligne] : http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp Page consultée le 3 décembre 2018.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2017b. Schéma de bouteilles modifié. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec, 1 page.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2018a. Glossaire, Eau. [En ligne] : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/EAU/SYS-IMAGE/GLOSSAIRE1.HTM> Page consultée le 3 décembre 2018.

Organisme des bassins versants de la Capitale (OBV de la Capitale), 2015a. Bassin de la rivière Saint-Charles / Qualité de l'eau de surface. [En ligne] : <http://www.obvcapitale.org/bassin-de-la-riviere-saint-charles-qualite-de-leau-de-surface#quesbrivjaune> Page consultée le 8 mars 2019.

Organisme des bassins versants de la Capitale (OBV de la Capitale), 2015b. 1.1 Présence de nutriments et de matières en suspension. [En ligne] : <http://www.obvcapitale.org/plans-directeurs-de-leau-2/2e-generation/diagnostic/section-1-problematiques-associees-a-la-qualite-de-leau/1-5-presence-de-nutriments-et-de-matieres-en-suspension> Page consultée le 8 mars 2019.

Pickering, C.M., Hill, W., Newsome, D., Leung, Y-F., 2010. Comparing hiking, mountain biking and horse riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America. Volume 91, Issue 3, Pages 551-562, Journal of environmental management.

Quinn, M. et Chernoff, G., Parks Canada, 2010. Mountain Biking: A Review of the Ecological Effects A Literature Review for Parks Canada – National Office (Visitor Experience Branch) FINAL REPORT [En ligne] : <https://www.lib.washington.edu/msd/norestriction/b67566091.pdf> Page consultée le 9 avril 2019.

Roche Ltée, 2010. État de la situation du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles-Rapport final. Roche, pour la Communauté métropolitaine de Québec, 2010. 221 Pages + 11 annexes. [En ligne] : http://www.obvcapitale.org/pdf/Rapport_CMQ_7_janv2010_FINAL.pdf Page consultée le 8 mars 2019.

Roche Ltée, 2014. État de la situation du bassin versant de la prise d'eau de la rivière Saint-Charles-Plan d'action 2014 pour la mise en œuvre des recommandations. Roche, pour la Communauté métropolitaine de Québec, 2014. 55 Pages + 3 annexes. [En ligne] : <https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2018/11/rapportroche-2014compresse.pdf> Page consultée le 8 mars 2019.

St-Onge, I., Bérubé, P., et P. Magnan., 2001. Effet des perturbations naturelles et anthropiques sur les milieux aquatiques et les communautés de poissons de la forêt boréale, rétrospective et analyse critique de la littérature, *Le naturaliste canadien*, 125 (3) : 81- 95. [En ligne] : <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/moisie-et-lacs/documents/DB25.pdf> Page consultée le 8 mars 2019.

Thibault, A., 2018. Étude ichtyologique de la rivière Waterloo, un tributaire de la rivière jaune-2017. *Organisme des bassins versants de la Capitale*, 18 pages + 2 annexes.

Santé Canada, 2013. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document Guideline- Technical Document- Nitrate and Nitrite. [En ligne] : <http://healthycanadians.gc.ca/publications/healthy-living-vie-saine/water-nitrate-nitrite-eau/alt/water-nitrate-nitrite-eau-eng.pdf> Page consultée le 9 avril 2019.

Sentiers du Moulin, s.d. Les activités. [En ligne] : <https://sentiersdumoulin.com/fr/activites/ski-snow-hors-piste/> Page consultée le 11 avril 2019.

Annexe photographique



Photo 1 : Évolution de l'ouverture des chemins forestiers dans le bassin versant de la rivière Waterloo de 2003 à 2013



Photo 2 : Ensablement de la rivière Waterloo, 2016



Photo 3 : Foyer d'érosion aux Sentiers du Moulin, 2016



Photo 4 : Travaux aux Sentiers du Moulin, 2019



Photo 5 : Apport de sédiments aux Sentiers du Moulin, 2019



Photo 6 : Apport de sédiments aux Sentiers du Moulin, 2019